

# CUIEET

Gijón

**Gijón,  
25, 26 y 27 de  
junio 2018**

## **XXVI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas**

Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón

### **LIBRO DE ACTAS**



Universidad de Oviedo  
*Universidá d'Uviéu*  
University of Oviedo



LIBRO DE ACTAS DEL  
**XXVI Congreso Universitario de Innovación Educativa**  
**En las Enseñanzas Técnicas**  
25-27 de junio de 2018  
Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón  
UNIVERSIDAD DE OVIEDO

© Universidad de Oviedo, 2018

ISBN: 978-84-17445-02-7

DL: AS 1893-2018

La importancia de las empresas como patrocinadores de los laboratorios de fabricación (Fab Labs)	1
La formación dual universitaria en el Grado en Ingeniería en Automoción de la IUE-EUI de Vitoria-Gasteiz. Requisitos de calidad	12
Prácticas formativas en la UPV: objetivo estratégico	24
Elaboración de <i>audioslides</i> para apoyo a la enseñanza en inglés en los grados bilingües	36
<i>Effect of Industry 4.0 on education systems: an outlook</i>	43
Uso de simuladores y herramientas de programación para facilitar la comprensión de la operación de los sistemas eléctricos	55
Aplicación de ejercicios resueltos de ingeniería del terreno con recursos de acceso libre para teléfonos móviles y tabletas electrónicas	67
<i>Proposal to determine learning styles in the classroom</i>	77
La soledad de los Millennials en la EPI de Gijón	84
Mejora de la calidad de la formación postgraduada en ortodoncia de la Universidad de Oviedo	96
El plagio entre el alumnado universitario: un caso exploratorio	106
Competencias necesarias en el ejercicio de la profesión de Ingeniería Informática: experimento sobre la percepción de los estudiantes	116
El proyecto <i>Flying Challenge</i> , una experiencia de interconexión universidad-empresa utilizando mentoría entre iguales	127
Formación en ingeniería con la colaboración activa del entorno universitario	134
“Emprende en verde”. Proyecto de innovación docente de fomento del emprendimiento en el ámbito de las Ingenierías Agrarias	146
Competencia transversal de trabajo en equipo: evaluación en las enseñanzas técnicas	158
<i>Introducing sustainability in a software engineering curriculum through requirements engineering</i>	167

Percepción de las competencias transversales de los alumnos con docencia en el área de producción vegetal	176
Experiencia de aprendizaje basado en proyectos con alumnos Erasmus	186
Elaboración de un juego de mesa para la adquisición de habilidades directivas en logística	198
Proyecto IMAI - innovación en la materia de acondicionamiento e instalaciones. Plan BIM	210
<i>BIM development of an industrial project in the context of a collaborative End of Degree Project</i>	221
Desarrollo de un sistema de detección de incendios mediante drones: un caso de aprendizaje basado en proyectos en el marco de un proyecto coordinado en un Máster Universitario en Ingeniería Informática	231
Algunas propuestas metodológicas para el aprendizaje de competencias matemáticas en ingeniería	243
Riesgos psicosociales del docente universitario	255
<i>Face2Face</i> una actividad para la orientación profesional	267
Trabajo fin de grado. Una visión crítica	276
Gamificaci en el aula: “ <i>Escape Room</i> ” en tutorías grupales	284
Una evolución natural hacia la aplicación del aprendizaje basado en diseños en las asignaturas de la mención de sistemas electrónicos del Grado en Ingeniería en Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Una experiencia docente desde la EPI de Gijón	296
Propuesta para compartir escenarios docentes a través de <i>visual thinking</i> . Bases de la termografía, equipos electromédicos termo-gráficos y su aplicación en salud	308
EMC: aspectos prácticos en el ámbito docente	316
Habilidades sociales en la ingeniería	327
Aprendizaje orientado a proyectos integradores y perfeccionamiento del trabajo en equipo caso - Máster Erasmus Mundus en Ingeniería Mecatrónica	339

Tendencias en la innovación docente en enseñanzas técnicas: análisis y propuesta de mejoras para la asignatura Mecánica de Fluidos	349
Diseño y puesta en marcha de una práctica docente basada en recuperación de energía térmica mediante dispositivos termoeléctricos	361
Caso de estudio en el procedimiento de un grupo de estudiantes cuando se aplica Evaluación Formativa en diferentes materias de un Grado de Ingeniería	373
Visionado de vídeos como actividad formativa alternativa a los experimentos reales	385
Utilización de vídeos <i>screencast</i> para la mejora del aprendizaje de teoría de circuitos en grados de ingeniería	394
La invasión de los garbanzos	406
Evolución del sistema de gestión de prácticas eTUTOR entre los años 2010 y 2017	418
Implementación de juegos educativos en la enseñanza de química en los grados de ingeniería	430
Trabajando interactivamente con series de Fourier y trigonométricas	439
Aproximación de las inteligencias múltiples en ingeniería industrial hacia una ingeniería inteligente	450
Cooperando mayor satisfacción. Experiencias de dinámicas cooperativas en 1 <sup>er</sup> curso de ingeniería en el área de expresión gráfica.	461
Cognición a través de casos en el área de Acondicionamiento e Instalaciones de la E.T.S. de Arquitectura de Valladolid	473
Un instrumento para explorar las actitudes hacia la informática en estudiantes de matemáticas	482
La metodología <i>contest-based approach</i> en STEM: modelización de datos meteorológicos	493
Técnicas de gamificación en ingeniería electrónica	505
El reto del aprendizaje basado en proyectos para trabajar en competencias transversales. aplicación a asignaturas de electrónica en la ETSID de la UPV	521



Dibujo asistido por ordenador, sí, pero con conocimiento de geometría	534
Introduciendo la infraestructura verde y los sistemas de drenaje sostenible en los estudios de grado y postgrado en ingeniería	547
Aprendizaje colaborativo en Teoría de Estructuras	559
Modelo de evaluación y seguimiento de los trabajos fin de grado (TFG) y trabajos fin de máster (TFM) tutorizados en el área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación	567
El Taller de Diseño como núcleo de innovación docente y eje de adquisición de competencias en la formación del Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos	579
Diseño y evaluación de un laboratorio virtual para visualizar en 3D el gradiente y la derivada direccional en un campo escalar bidimensional	588
La ludificación como herramienta de motivación en la asignatura bilingüe <i>Waves and Electromagnetism</i>	600
Gamificación en la impartición de Cálculo de Estructuras	612
Análisis de las actitudes visuales y verbales de alumnos noveles de Grado de Ingeniería en la Universidad Politécnica de Cartagena	621
Diseño curricular del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Medellín, Colombia	633
Evaluación significativa de prácticas de laboratorio: portfolios <i>versus</i> prueba final objetiva	644
Introducción de la Cultura Científica en Grados de Ingeniería	658
Detección de errores conceptuales en Matemáticas de los alumnos del grado en Ingeniería Informática del Software en su primer año de carrera.	665
Rúbrica de evaluación en un laboratorio de Ingeniería Química	676
Factores explicativos de la elección de grados en el área agroalimentaria	686
Diseño de una actividad para el desarrollo y evaluación de competencias transversales en el ámbito de la Teoría de Máquinas y Mecanismos	696

Necesitamos “engineers”. Programa para el desarrollo de las competencias de una ingeniera	708
Estudio de la Implantación de Competencias dentro del marco europeo: revisión prospectiva en las enseñanzas técnicas de la Universidad de Oviedo	718
Sostenibilidad e Ingeniería Industrial: estrategias para integrar la ética en los programas de formación	730
Una experiencia en proyectos europeos de ambito educativo	743
Modelos didácticos de Goma-EVA para visualizar conceptos y detalles en la enseñanza de estructuras metálicas	750
<i>Introduction to the Fluid Dynamics of Biological Flows. Innovation project using the CFD simulation of the lung air flow.</i>	762
Aprendizaje activo y cooperativo en el Area de Informática Industrial	772
Aprender en el contexto de la empresa	784
Valoración por las empresas de las competencias en las prácticas realizadas por alumnos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	792
Sinergia bidireccional universidad-empresa. Caso de estudio: Aula Universitaria de Arquitectura	804
Nuevas técnicas metodologías para el fomento de habilidades transversales y transferencia del conocimiento en universitarios	815
Formación en competencias socialmente responsables en la Universidad de Oviedo	823
Competencias transversales en la asignatura Tecnología Medioambiental	833
Actividad sobre la competencia emprendedora introduciendo <i>Lean Startup</i> en un grado de ingeniería	842
Evaluación de la competencia transversal ‘Comunicación Efectiva’ mediante presentaciones en vídeo	854
Dinamización del aprendizaje de VHDL a través del aprendizaje basado en proyectos en una asignatura de máster	863
Proyecto Solar-F. Desarrollo de un prototipo de seguidor solar	875

Definición de tareas de aprendizaje basado en proyecto colaborativo para Ingeniería Mecatrónica	883
La investigación-acción participativa como herramienta de responsabilidad social universitaria	895
Implantación del Programa de Mentorías entre iguales MENTOR EPIGIJON	907
De Orienta a Mentor	919
Sello RIME de calidad de la función orientadora. Poniendo en valor la acción tutorial	931
Establecimiento de una relación productiva doctorando/supervisor: expectativas, roles y relación	943
Análisis de singularidades en transformaciones trifásicas, empleando una plataforma educativa para ingeniería	953
El cuadro de mandos como entorno educacional	961
DIBUTEC: plataforma web interactiva para la resolución de ejercicios gráficos en Ingeniería	975
Alumnos más participativos con el uso de herramientas de gamificación y colaboración	985
Utilización de prensa <i>online</i> , Campus Virtual y dispositivos móviles para el aprendizaje y aplicación de conceptos económico-empresariales en estudiantes de ingeniería	997
El rol de la práctica de campo en la clase inversa. Caso práctico sobre el diseño de productos para la <i>smartcity</i> en el contexto del Jardín del Túria	1008
Desarrollo de competencias transversales en ingeniería con el inglés como lengua vehicular y mejora de la participación con aprovechamiento en clase.	1019
Experiencia de desarrollo y evaluación de prácticas utilizando TIC	1031
Diseño e implementación de una herramienta de coordinación de los títulos que se imparten en la Escuela de Ingenierías Industriales	1042
<i>Framework for the analysis of students association' interests &amp; voices</i>	1054



Mejora continua en el proceso de internacionalización de la ETS de Ingeniería y Diseño Industrial (ETSIDI) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	1066
Calidad del empleo de la/os egresada/os de Arquitectura Técnica de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) en el período 2005-13: diferencias de género	1076
<i>Student's cognitive style towards innovation. A pilot study at ETSIDI-UPM</i>	1087
Optimización del proceso creativo en el aula: entrenamiento de la actitud creadora para reducir la complejidad multidimensional del pensamiento creativo en el equipo	1091
La formación específica en competencias transversales como contenido integrado en el plan docente	1096
Los alumnos deciden: Edublog de la asignatura Estadística	1102
La necesidad de la eficiencia energética en las infraestructuras universitarias	1106
<i>Learning by engineering: del Lean Manufacturing a la Industria 4.0</i>	1110
Prácticas de laboratorio avanzado en últimos cursos de grado	1114
Propuesta de actividad de aprendizaje colaborativo en una asignatura de máster universitario	1118
Mejora de la praxis docente mediante la inclusión de actividades para el desarrollo de las capacidades metacognitivas de los estudiantes	1122
Factores curriculares y evolución tecnológica que inciden en la resolución de sistemas de ecuaciones lineales	1126
Ética y sostenibilidad: buscando hueco en los planes de estudios	1130
Descripción de una experiencia con el uso de las TICs basada en el uso de videos explicativos y cuestionarios para una mejor comprensión de las prácticas de Física de Ingeniería Industrial	1134
Banco de ensayos para instalaciones de autoconsumo fotovoltaico aisladas y/o conectadas a red	1144
Diseño de mini-videos y mini-audios esenciales para el seguimiento óptimo de las asignaturas y la prevención de su abandono	1148

Aplicación interactiva <i>online</i> para el aprendizaje del fenómeno del pandeo en elementos metálicos sometidos a compresión simple	1152
Evaluación continua, compartida y progresiva aplicada al Grado de Ingeniería. Caso de estudio	1157
Diseño e implantación sistemática de evocaciones y de evaluación por rúbricas en Ingeniería Gráfica por medio de herramientas TIC	1163
Asignaturas de nivelación en Master de Ingeniería Mecatrónica. Ejemplo de Electrónica	1171
La competencia de responsabilidad	1183
MediaLab: nueva formación tecnológica y humanística en la Universidad de Oviedo	1196
Mejora de la calidad de los TFG en grados de ingeniería	1200
Desarrollo de competencias profesionales en las prácticas de laboratorio/taller	1204
La enseñanza de Estadística Aplicada en el Grado de Ingeniería Forestal: para y por ingenieros	1214
La redacción de informes técnicos y periciales como formación transversal en ingeniería	1225
BEE A DOER – Empezando y aprendiendo impresión 3D	1230
Propuesta de curso NOOC: Iniciación a la química para titulaciones de ingeniería	1237
<i>Two-Storey building model for testing some vibration mitigation devices</i>	1241
Plataforma Web para el entrenamiento de las presentaciones orales del Trabajo Fin de Grado (TFG)	1245
Aprendizaje competencial efectivo mediante las prácticas del laboratorio de las asignaturas del área de Mecánica de Fluidos de los estudios de Grado y Máster de Ingeniería Industrial de la Escuela de Ingeniería de Bilbao	1249
Fabricación y caracterización de materiales compuestos. <i>Composite Materials: manufacturing and characterization</i>	1256

Desarrollo de competencias transversales en grados de ingeniería industrial mediante metodologías activas de enseñanza-aprendizaje basadas en el <i>mentoring</i> y ABP	1264
Planificación de prácticas de laboratorio basadas en un amplificador de radiofrecuencia de bajo coste orientadas a la enseñanza de asignaturas de Electrónica de Comunicaciones	1276
Orientación universitaria de estudiantes de ingeniería. Plan de acción tutorial de la Escuela Politécnica superior de Jaén (PAT-EPSJ)	1280
Experiencia innovadora en “las ciencias de la naturaleza de educación infantil”	1284
Actividad práctica de diseño para la fabricación asistida con CATIA: Doblado de chapa metálica	1290
La investigación como parte del proceso educativo de la enseñanza superior	1294
Aprendizaje Orientado a Proyectos en el diseño de sistemas mecánicos	1298
Evaluación del déficit de atención en niños mediante el análisis de tiempos de respuesta	1302
Desarrollo de proyectos didácticos para adquirir competencias transversales	1308
Competencias genéricas percibidas por los alumnos con formación en producción vegetal	1312
Enseñanza grupal. Estudio por casos de empresas Valencianas	1318
Implicación del alumnado en el proceso de aprendizaje mediante Trabajos Fin de Grado/Máster en Ingeniería de Telecomunicación	1322
<i>An example of company-university cooperation: Mathematical modeling and numerical simulation of heat dissipation in led bulbs</i>	1326
Aprendizaje centrado en el proyecto de estructuras adaptados a la enseñanza universitaria	1331
Nuevo enfoque pedagógico en la formación del perfil profesional para el desarrollo de proyectos de automatización industrial a través de un concepto de integración total	1335
Convenios de cooperación educativa en el ámbito náutico: universidad- empresa	1339

Sinergia bidireccional universidad-empresa. Caso de estudio: proyecto de investigación ERGONUI-TME	1344
Estudio comparativo entre estudiantes de ingeniería de la Universidad de León mediante el <i>test Force Concept Inventory</i>	1350
Innovación para el desarrollo de nueva propuesta de máster semipresencial en prevención de riesgos laborales	1354
El círculo de Mohr y la innovación docente en educación superior	1359



## Uso de simuladores y herramientas de programación para facilitar la comprensión de la operación de los sistemas eléctricos

Ruth Domínguez<sup>a</sup>, Rafael Zárate-Miñano<sup>b</sup>, Miguel Carrión<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Escuela de Ingeniería Industrial de Toledo, ([Ruth.Dominguez@uclm.es](mailto:Ruth.Dominguez@uclm.es), [Miguel.Carrión@uclm.es](mailto:Miguel.Carrión@uclm.es)),

<sup>b</sup>Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén, ([Rafael.Zarate@uclm.es](mailto:Rafael.Zarate@uclm.es))

---

### **Abstract**

*Electrical engineers must be able to develop and use computational tools for the planning, operation, and reliability analysis of power systems. On the basis of active teaching methodologies, this paper proposes two practical activities in which the students will elaborate their own programming code to solve two basic problems related to power system operations, namely, the power flow problem and the fault analysis. Both activities include the use of commercial power system simulators for comparison purposes. The use of these kinds of simulators increases the autonomy of the students in the implementation of the mathematical algorithm since the simulator allows them to know the actual solution of the problem in advance. The objective of the proposed activities is twofold: first, better understanding of the operation of realistic power systems; and second, the development of programming skills.*

**Keywords:** Active teaching methodologies, computational tools, power system analysis, programming skills.

---

### **Resumen**

*Los ingenieros eléctricos deben ser capaces de desarrollar y utilizar herramientas computacionales para la planificación, operación, y análisis de fiabilidad de los sistemas de energía eléctrica. Tomando como base las metodologías activas de enseñanza, este artículo propone dos actividades prácticas en las que los estudiantes han de elaborar su propio código de programación para resolver dos problemas básicos relacionados con la operación de los sistemas de energía eléctrica: el flujo de cargas, y el análisis de faltas. Ambas actividades incluyen el uso de simuladores comerciales de sistemas de energía*

*eléctrica que se utilizarán para el contraste de resultados. La utilización de este tipo de simuladores amplía la autonomía de los estudiantes en lo que se refiere a la implementación de algoritmos matemáticos ya que el simulador les permite conocer de antemano la solución del problema a resolver. El objetivo de las actividades propuestas es doble: primero, la mejor comprensión de la operación de los sistemas de energía eléctrica; y segundo, el desarrollo de sus habilidades de programación.*

**Palabras clave:** *Metodologías activas de enseñanza, herramientas computacionales, análisis de sistemas de energía eléctrica, habilidades de programación.*

## **1. Introducción**

La metodología de enseñanza que se ha aplicado tradicionalmente a los estudiantes de grado ha consistido en clases magistrales en las que la participación de los estudiantes era escasa. Sin embargo, diferentes experiencias relacionadas con metodologías activas de enseñanza sugieren la conveniencia de incrementar la participación de los estudiantes mediante el planteamiento de problemas para resolver en clase [1, 2]. De esta forma, los estudiantes aprenden conceptos teóricos a la vez que desarrollan sus habilidades computacionales, comunicativas, y/o de trabajo en equipo.

Por otro lado, la facilidad de acceso a equipos informáticos, junto a su desarrollo, ha llevado a un uso cada vez mayor de herramientas computacionales para la resolución de problemas ingenieriles en el contexto de la enseñanza. De hecho, problemas de tamaño real no podrían resolverse sin el uso de herramientas computacionales. Por tanto, es importante para los estudiantes conocer cómo se resuelven dichos problemas en la práctica.

El objetivo de este artículo es describir dos actividades prácticas diseñadas para motivar a los estudiantes de la asignatura de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión del Grado en Ingeniería Eléctrica a desarrollar sus propias herramientas matemáticas para el análisis de sistemas de energía eléctrica. En concreto, se utilizan modelos de programación matemática y software comercial de simulación para resolver el problema del flujo de cargas y el análisis de faltas, dos de los estudios básicos que se han de llevar a cabo en el ámbito de los sistemas de energía eléctrica. El problema del flujo de cargas simula el estado del sistema en un momento dado y se utiliza tanto para labores de planificación como de operación. Por su parte, el análisis de faltas permite el dimensionamiento de las protecciones del sistema con el objetivo de eliminar, lo antes posible, los efectos negativos de las averías en los diferentes componentes.

## **2. Actividades prácticas propuestas**

Los problemas que se han de resolver en las actividades están basados en [3] y [4].



## 2.1 Práctica 1: El problema del flujo de cargas

El objetivo de esta práctica es comprender los fundamentos del problema del flujo de cargas y desarrollar habilidades computacionales para resolverlo.

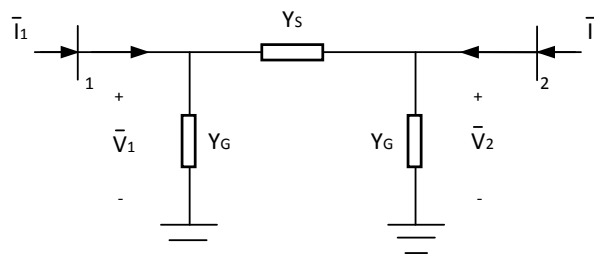
### 2.1.1 Introducción teórica

Los sistemas de energía eléctrica se representan habitualmente por un conjunto de nudos (puntos de interconexión de la red) conectados por líneas eléctricas. A estos nudos se conectan tanto los generadores como las cargas del sistema. Conocido el valor de la potencia que producen las unidades de generación y la que se consume en cada nudo, el problema del flujo de cargas consiste en calcular el valor de la tensión en cada nudo de la red, u el valor del flujo de potencia a través de las líneas de la red. Dicho cálculo se lleva a cabo mediante la resolución de un sistema de ecuaciones no lineales. En otras palabras, resolver el problema del flujo de cargas equivale a identificar los valores de las magnitudes eléctricas básicas del sistema en un momento determinado. Este problema sirve de base a otros análisis más complejos, como la estimación de estado o los análisis de seguridad, y también es fundamental en la operación y estudios de expansión de los sistemas de energía eléctrica.

Dado que el problema resultante es no lineal y, por tanto, complejo de resolver, se hace necesaria la aplicación de técnicas iterativas con las que se obtienen soluciones aproximadas. Cuanto mayor es el tamaño de la red, mayor es la necesidad de utilizar técnicas iterativas eficientes. Por tanto, dependiendo del tamaño de la red y los requisitos del análisis que se ha de efectuar, habrá que llegar a un compromiso entre precisión y tiempo de ejecución.

Para derivar las ecuaciones que describen el problema del flujo de cargas, se parte del modelo en  $\pi$  de las líneas eléctricas. En la Fig. 1, una línea eléctrica conecta los nudos 1 y 2. Los parámetros  $Y_S$  y  $Y_G$  representan, respectivamente, la admitancia serie y la mitad de la admitancia paralelo de la línea. Los fasores  $\bar{V}_i$  y  $\bar{I}_i$  ( $i=1,2$ ), representan la tensión y la corriente inyectada en los nudos.

Figura 1 Modelo en  $\pi$  de una línea eléctrica



El objetivo es averiguar la relación entre la potencia compleja, es decir,  $S_i = P_i + jQ_i$ , y la tensión  $\bar{V}_i = V_i \angle \delta_i$ , en cada nudo  $i$  de la red. Para ello, se aplican las leyes de Kirchhoff, resultando las siguientes expresiones:

$$\bar{I}_i = \bar{V}_i Y_G + (\bar{V}_i - \bar{V}_k) Y_S, \quad \forall i, \quad (1)$$

siendo  $k$  el nudo que conecta la línea con el nudo  $i$ . Para facilitar el cálculo de estas ecuaciones, se describe la ecuación (1) en forma matricial de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_i \\ \bar{I}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_G + Y_S & -Y_S \\ -Y_S & Y_G + Y_S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_i \\ \bar{V}_k \end{bmatrix} = Y_{bus} \begin{bmatrix} \bar{V}_i \\ \bar{V}_k \end{bmatrix} \quad (2)$$

De la ecuación (2) se deriva el cálculo de los elementos de la matriz de admitancias  $Y_{bus}$ . Los elementos de la diagonal,  $Y_{ii}$ , son la suma algebraica de todas las admitancias conectadas al nudo  $i$ , mientras que el resto de los elementos de la matriz,  $Y_{ik}$  e  $Y_{ki}$ , son la suma, cambiada de signo, de todas las admitancias conectadas entre los nudos  $i$  y  $k$ . Nótese que la matriz  $Y_{bus}$  es simétrica. Por otro lado, la potencia compleja se puede expresar en función de la tensión y la corriente de la siguiente forma:

$$S_i = P_i + jQ_i = \bar{V}_i \bar{I}_i^*, \quad \forall i \quad (3)$$

Sustituyendo (1) en (3) y aplicando transformaciones matemáticas básicas, se obtienen las ecuaciones (4) y (5) que representan, respectivamente, las potencias activa y reactiva inyectadas en cada nudo, y que constituyen el conjunto de ecuaciones no lineales que definen el problema del flujo de cargas:

$$P_i = V_i \sum_{k=1}^N V_k (G_{ik} \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \delta_{ik}), \quad \forall i \quad (4)$$

$$Q_i = V_i \sum_{k=1}^N V_k (G_{ik} \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \delta_{ik}), \quad \forall i \quad (5)$$

donde  $Y_{ik} = G_{ik} + jB_{ik}$  y  $\delta_{ik} = \delta_i - \delta_k$ . Para completar la formulación final del problema, los nudos del sistema se clasifican en tres tipos:

- **Nudo de generación o PV**, al cual está conectado un generador. En este tipo de nudos, se conocen la potencia activa inyectada y la amplitud de la tensión.
- **Nudo de carga o PQ**, en el que se localiza la carga, pero no hay generadores conectados. En estos nudos se conoce tanto la potencia activa como la reactiva de la carga.
- **Nudo slack**, en el que hay un generador conectado. Este nudo es único en el sistema y la potencia que se genera en él incluye las pérdidas del sistema. Lo habitual en la práctica es elegir este nudo como nudo de referencia de fases, es decir, la fase de tensión en este nudo se fija a cero. Además, la amplitud de su tensión es conocida.

Debido a que las ecuaciones (4) y (5) no son lineales, es necesario aplicar técnicas iterativas para resolver el problema. Los métodos que se aplican habitualmente son los siguientes: Gauss-Seidel (GS), Newton-Raphson (NR), Descoplado rápido (DR) y Flujo de cargas en continua (DC).

### 2.1.2 Enunciado del problema

Dados los valores de la potencia activa y de la amplitud de la tensión en los nudos de generación, y de la potencia activa y reactiva en los nudos de carga, formular el problema del flujo de cargas para el sistema de la Fig. 2. La Tabla 1 recoge los datos de entrada de dicho sistema. Obtener los valores de las variables de estado en todos los nudos de la red, así como el flujo de potencia a través de las líneas. Para ello, aplicar los métodos de GS, NR, DR, y DC, y comparar los resultados. Utilizar Matlab [5] para implementar los algoritmos. Además, utilizar PowerWorld [6] para resolver el problema del flujo de cargas, utilizando los resultados obtenidos como referencia para los métodos iterativos.

Figura 2 Esquema del sistema eléctrico para el problema del flujo de cargas

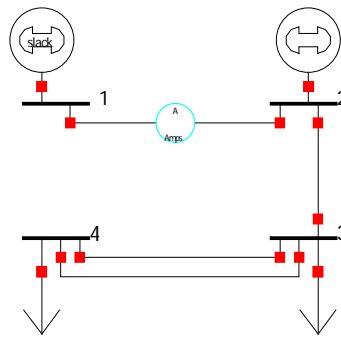


Tabla 1. Datos de entrada del sistema

Nudo	$V_i$ [p.u.]	$P_i / Q_i$ [p.u.]	Line (origen/destino)	Impedancia [p.u.]
1	1.1	-	1-2	$0.01 + j0.02$
2	1.1	$P_2=3.0$	2-3	$0.01 + j0.03$
3	-	$P_3=4.0 / Q_3=1.0$	3-4	$0.01 + j0.03$ (cada)
4	-	$P_4=2.0 / Q_4=0.8$		

Este ejercicio se puede llevar a cabo en grupos de dos o tres estudiantes. El informe que ha de elaborar cada el grupo debe incluir, al menos, lo siguiente:

- Matriz de admitancias y, para cada nudo, indicar su tipo.
- Para cada método de solución, enumerar los pasos seguidos en el proceso iterativo.
- Resultados del flujo de cargas: número de iteraciones, potencia compleja y tensión en cada nudo, flujo de potencia y pérdidas en cada línea del sistema.
- Tabla comparando los resultados obtenidos con cada método.
- En cada iteración del método GS: para cada nudo PQ, incluir la ecuación de tensión; para cada nudo PV, incluir las ecuaciones de potencia reactiva y fase de tensión. Además, incluir el código generado para Matlab.
- En cada iteración del método NR: mostrar la matriz Jacobiana.
- Para el método DC: incluir el sistema de ecuaciones

## **2.2 Práctica 2: Análisis de faltas**

El objetivo de esta práctica es que el alumno aplique la teoría de circuitos y sus fundamentos matemáticos para la ejecución del análisis de faltas con herramientas computacionales.

### **2.2.1 Introducción teórica**

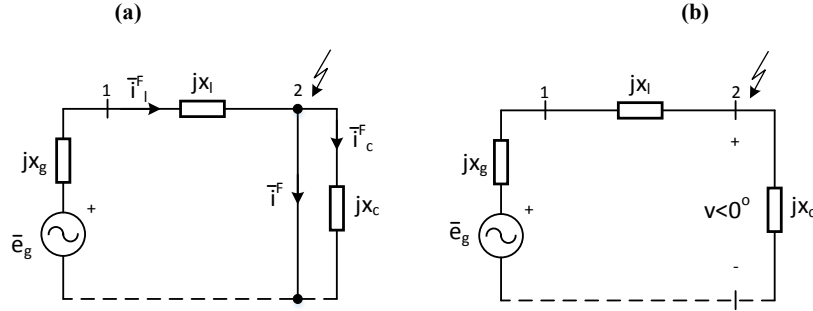
Una falta hace referencia al efecto que provoca en el sistema eléctrico una perturbación o el fallo de alguno de sus elementos. Es importante realizar un análisis de faltas porque se requiere mantener un nivel de calidad adecuado en el suministro eléctrico y para ello, es necesario mitigar las posibles faltas en el sistema lo antes posible para así reducir al mínimo los cortes en el suministro. El análisis de faltas permite a los ingenieros eléctricos dimensionar correctamente los elementos de protección y corte del sistema.

Tras una falta, se produce una corriente muy elevada en condiciones o no de balance. Debido a su exposición a las condiciones meteorológicas y a otros elementos externos, los fallos se producen de forma más frecuente en las líneas de transmisión. Existen cuatro tipos de faltas, que son: falta de fase a tierra (FT), falta bifásica (FF), falta bifásica a tierra (FFT) y falta trifásica equilibrada (3F). El tipo de falta más común es la FT y la menos común es la 3F, aunque ésta causa las corrientes de falta más elevadas. A continuación se describen las características del análisis de faltas equilibradas y del análisis de faltas desequilibradas.

#### ***Faltas equilibradas***

La ventaja de analizar una falta trifásica equilibrada es que podemos utilizar el circuito monofásico equivalente del sistema para calcular la corriente de falta. La Fig. 3 representa un sistema sencillo con dos nudos conectados a través de una línea de transmisión, que conecta un generador y una carga.

**Figura 3 Representación de una falta en un circuito monofásico equivalente.**



Como se representa en la Fig. 3 (a), si se produce una falta en el nudo 2, este nudo se conecta a tierra y se genera una corriente de falta  $i^F$ . En circuitos sencillos como éste, podemos definir directamente el valor de las corrientes resultantes como sigue:

$$i^F = i_l^F = -jv \frac{x_c + x_g + x_l}{x_c(x_g + x_l)} ; \quad i_c^F = 0 \quad (6)$$

siendo  $i_l^F$  e  $i_c^F$  las corrientes tras la falta a través de la línea de transmisión y la carga, respectivamente, y  $v$  el módulo de la tensión inicial en el nudo de la falta.

Este circuito también puede resolverse utilizando el teorema de Thévenin [7]. El circuito de Thévenin equivalente respecto del nudo de falta se representa en la Fig. 3(b). La impedancia de Thévenin,  $z^{Th}$ , y la tensión de Thévenin,  $\overline{e^{Th}}$ , se calculan como sigue :

$$z^{Th} = -j \frac{x_c(x_g + x_l)}{x_c + x_g + x_l} ; \quad \overline{e^{Th}} = v \angle 0^\circ \quad (7)$$

Así, la corriente de falta resulta del cociente entre la tensión y la impedancia.

Si existe un gran número de nudos en el circuito, el uso del teorema de Thévenin puede resultar en operaciones matemáticas muy complejas. Por ello, los grandes sistemas eléctricos se suelen analizar utilizando la notación matricial. En este procedimiento, todos los elementos del sistema eléctrico, ya sean generadores, cargas, líneas de transmisión, etc., se representan mediante su impedancia interna. Para calcular el valor del elemento  $i$  de la diagonal de la matriz de admitancias es necesario incluir las admitancias de todos los elementos conectados al nudo  $i$ . Además, es necesario definir la matriz de impedancias, que es la inversa de la matriz de admitancias.

Aplicando teoría básica de circuitos, obtenemos que la tensión y la corriente de falta en el nudo  $k$  a través de la impedancia  $Z_k^F$  se calcula resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\overline{v_k^F} = \overline{v_k^0} - Z_{kk} \overline{i_k^F} \quad (8)$$

$$\overline{v_k^F} = Z_k^F \overline{I_k^F} \quad (9)$$

donde,  $\overline{v_k^0}$  representa la tensión inicial en el nudo de la falta, y  $Z_{kk}$  es el element  $kk$  de la matriz de impedancias.

### Faltas desequilibradas

Si se produce una falta desequilibrada FT, FF o FFT, el sistema trifásico de tensiones se desequilibra. Sin embargo, nótese que la red sigue siendo simétrica. Por tanto, este tipo de problemas se resuelve utilizando el método de componentes simétricas desarrollado por Fortesque [3], que básicamente, permite representar un sistema de fasores desequilibrado a través de 9 componentes simétricas, que se agrupan en 3 secuencias de 3 componentes cada una: secuencia directa, secuencia inversa y secuencia homopolar. De esta forma, cada elemento del sistema eléctrico se puede representar a través de un circuito equivalente por secuencia. Acoplando los circuitos de cada secuencia, se obtienen tres circuitos independientes equilibrados, que se pueden resolver fácilmente utilizando el circuito monofásico equivalente para cada secuencia. Una vez resuelto cada circuito, se aplica el principio de superposición para obtener la solución final. La matriz de transformación de componentes simétricas se utiliza para obtener el circuito en secuencias de cada elemento del sistema.

### 2.2.2 Enunciado del problema

Dado el sistema eléctrico representado en la Fig. 4 y teniendo en cuenta los datos proporcionados en las tablas 2 y 3, realizar el análisis de falta equilibrada y faltas desequilibradas en el nudo 3.

Figura 4 Esquema de la red para el análisis de faltas.

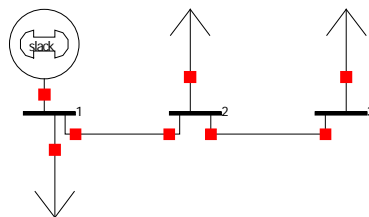


Tabla 2. Tensión y potencia en cada nudo.

Nudo	$V_i$ (p.u.)	$P_i / Q_i$ (p.u.)
1	1.05	$P_1=0.4 / Q_1=0.1$
2	-	$P_2=1.0 / Q_2=0.5$
3	-	$P_3=0.8 / Q_3=0.2$



**Tabla 3. Impedancia del generador y de las líneas de transmisión en componentes simétricas (p.u.)**

Elemento	Secuencia homopolar	Secuencia directa	Secuencia inversa	Tierra
<b>G</b>	j0.03	j0.08	j0.08	j0.05
<b>L1-2</b>	0.025+j0.075	0.01 + j0.10	0.01 + j0.10	-
<b>L2-3</b>	0.025+j0.075	0.02 + j0.15	0.02 + j0.15	-

Para resolver el problema, se deben tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- La falta equilibrada se debe resolver utilizando el teorema de Thévenin, la notación matricial y utilizando PowerWorld [6].
- La falta desequilibrada a analizar es la FFT y se debe resolver utilizando el teorema de Thévenin.
- La impedancia de falta es despreciable en todos los casos.
- Nótese que se puede utilizar PowerWorld para resolver el problema de flujo de cargas y así conocer el estado inicial del sistema. Se puede utilizar Matlab [5] para realizar las operaciones computacionales.

Esta actividad se puede realizar en grupos de 2 o 3 estudiantes. Se debe presentar una memoria técnica por grupo con, al menos, el siguiente contenido: la corriente de falta y la tensión en todos los nudos y la corriente por cada elemento del sistema tras la falta. La memoria debe incluir una explicación detallada de los pasos seguidos para resolver cada problema.

### 3. Metodología

En esta sección se describe la metodología utilizada para la implementación de las actividades explicadas anteriormente. En cursos anteriores, la asignatura de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión no ha contemplado el uso de herramientas computacionales para resolver los problemas de flujo de cargas y de análisis de faltas. De hecho, los contenidos de la asignatura se han limitado principalmente al estudio de los fundamentos teóricos del diseño de los sistemas de protección y control de los sistemas eléctricos de potencia, dedicando una cantidad de tiempo muy limitada al análisis de casos prácticos. Sin embargo, es deseable animar a los estudiantes a resolver problemas prácticos de ingeniería con la ayuda de herramientas computacionales de una forma autónoma. Por tanto, la nueva propuesta de organización de la asignatura da más peso a la resolución de problemas de análisis de sistemas eléctricos de potencia mediante la realización de un mayor número de sesiones prácticas.

Los dos apartados siguientes describen las metodologías utilizadas para las actividades propuestas. Cada actividad está estructurada en tres sesiones de dos horas, en las que los estudiantes trabajarán en clase con sus propios ordenadores y apoyo de los profesores. Cada grupo de estudiantes resolverá un problema con datos de entrada diferentes. Es importante destacar que los estudiantes tendrán los conocimientos teóricos necesarios para el desarrollo adecuado de cada actividad.

### **3.1 Práctica 1: problema de flujo de cargas**

Los objetivos de cada sesión son los siguientes:

- **Primera sesión:** Presentar el simulador Powerworld [6] a los estudiantes. Este software ha sido seleccionado por dos razones: i) el interfaz es muy intuitivo, lo cual permite a los estudiantes comprender fácilmente el uso del software; y ii) existe una licencia educativa que es gratuita y permite resolver problemas suficientemente complejos. En esta sesión se resolverá el problema de flujo de cargas de una red de tres nudos, 2 generadores, una carga y 4 líneas de transportes.
- **Segunda sesión:** Resolver el problema de flujo de cargas descrito en la sección 2.1 utilizando el método GS mediante Matlab [5]. El uso de Matlab es recomendado porque este software está especialmente diseñado para la programación de algoritmos matemáticos. Otros lenguajes matemáticos que pueden ser igualmente utilizados son Julia [8] y Python [9]. Debido a limitaciones de tiempo, el profesor proporcionará a los estudiantes el código para el cálculo de la matriz de admitancias. Adicionalmente, durante la sesión el profesor ayudará a los estudiantes a programar el algoritmo GS, cuya programación puede resultar muy compleja para principiantes. De esta manera, en la primera hora de la sesión se implementarán los pasos principales del algoritmo, mientras que durante la segunda hora los estudiantes resolverán ellos mismos el problema de flujo de cargas.
- **Tercera sesión:** Resolver el problema de flujo de cargas descrito en la sección 2.1 utilizando los métodos NR o DR mediante Matlab. Debido a la complejidad de estos métodos, cada grupo de estudiantes deberá programar únicamente uno de ellos. El procedimiento a seguir es el mismo que el descrito en la segunda sesión. Es decir, el profesor ayudará a los estudiantes a programar los algoritmos y, posteriormente, los estudiantes trabajarán autónomamente para resolver el problema de flujo de cargas correspondiente.

La programación del problema de flujo de cargas en DC y la elaboración del informe de las prácticas serán elaborados por los estudiantes fuera de las horas presenciales en el aula.

### **3.2 Práctica 2: análisis de faltas**

Los objetivos de cada sesión son los siguientes:

- **Primera sesión:** Realizar un análisis de faltas trifásicas equilibradas. Dado que los estudiantes ya conocerán el uso de PowerWorld, en esta sesión el profesor explicará úni-

camente como calcular faltas trifásicas equilibradas utilizando este simulador. Posteriormente, los estudiantes trabajarán de forma autónoma en el problema que se les ha asignado. Para ello, en primer lugar, utilizarán PowerWorld y posteriormente utilizarán el Método de Thévenin con la ayuda de Matlab.

- **Segunda sesión:** Resolver un problema de análisis de faltas trifásicas equilibradas utilizando notación matricial mediante Matlab. Los estudiantes trabajarán de forma autónoma para realizar este ejercicio con la ayuda del profesor.
- **Tercera sesión:** Resolver un problema de faltas desequilibradas utilizando el Método de Thévenin mediante Matlab. Los estudiantes tendrán el apoyo del profesor para obtener el circuito equivalente en cada secuencia.

El informe de prácticas incluyendo los resultados de los ejercicios realizados será elaborado por los estudiantes fuera de las horas presenciales en el aula.

#### **4. Evaluación**

La idea que subyace en la propuesta descrita en este artículo se fundamenta en la creencia de que el conocimiento adquirido por los estudiantes y el esfuerzo realizado por ellos no debería ser evaluado únicamente mediante la realización de un examen escrito. En lugar de ello, creemos que es importante incentivar a los estudiantes a trabajar cada día, y para ello es necesario que los profesores sean capaces de evaluar sus progresos a medida que los estudiantes los vayan realizando. Por esta razón, la evaluación de la asignatura Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión se estructurará en tres partes: en primer lugar, el profesor evaluará la participación activa de los estudiantes en cada sesión práctica; en segundo lugar, los informes de prácticas realizadas por los estudiantes serán evaluados según los criterios descritos posteriormente; y, en tercer lugar, la realización de problemas sencillos será evaluada en el examen escrito.

Los criterios propuestos para evaluar los informes de prácticas elaborados por los estudiantes son los siguientes:

- La estructura y la escritura del documento, así como la explicación de los pasos seguidos para resolver cada problema.
- La precisión en la escritura de las ecuaciones matemáticas y en la representación gráfica de los circuitos eléctricos resultantes.
- La obtención de los resultados correctos.
- La creatividad en la presentación y explicación de los resultados.
- El uso correcto del lenguaje técnico en la escritura del informe.

Finalmente, los estudiantes recibirán una retroalimentación a sus informes. Específicamente, el profesor comentará cada informe añadiendo sugerencias y recomendaciones para mejorar la calidad del documento. Adicionalmente, los estudiantes serán requeridos a completar una

encuesta para expresar su grado de satisfacción sobre las actividades desarrolladas a lo largo de la asignatura y el trabajo realizado por los profesores.

## **5. Resumen y conclusiones**

Este artículo propone la realización de dos actividades prácticas relacionadas con la asignatura Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión del Grado en Ingeniería Eléctrica. Estas actividades se basan en la resolución de los problemas de flujo de cargas y análisis de faltas. En el contexto de metodologías activas de aprendizaje, el uso de simuladores y lenguajes de programación comerciales para la resolución de los problemas que se plantean permite a los estudiantes un mejor conocimiento de los conceptos teóricos y un mejor desarrollo de sus competencias computacionales. Además, se propone un sistema de evaluación basado en el progreso diario de los estudiantes. De acuerdo con esta filosofía, las actividades propuestas están diseñadas para ayudar a los profesores en este proceso de evaluación continua. Finalmente, las actividades propuestas serán implementadas en la asignatura de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión en la Escuela de Ingeniería Industrial de Toledo.

## **Referencias**

- [1] H. Barrows. "A taxonomy of problem based learning methods," *Medical Education*, vol. 20, 481-486, 1986.
- [2] A. Escribano and A. del Valle, *El aprendizaje basado en problemas*, España: Narcea, 2008.
- [3] A. R. Bergen and V. Vittal, *Power systems analysis*, United States of America: Prentice Hall, second edition, 2000.
- [4] A. Gómez Expósito et al., *Análisis y operación de los sistemas de energía eléctrica*, España: Mc Graw Hill, 2002.
- [5] MATLAB R2015a, The MathWorks Inc., 2015. [https://es.mathworks.com/?s\\_tid=gn\\_logo](https://es.mathworks.com/?s_tid=gn_logo)
- [6] PowerWorld Simulator 15 Evaluation, PowerWorld Corporation, Thomas J. Overbye 2011.
- [7] J. W. Nilsson and S. A. Riedel, *Electric circuits*, 10<sup>th</sup> edition. Pearson, 2015. ISBN-13: 9780133760033.
- [8] J. Bezanson, A. Edelman, S. Karpinski and V. B. Shah, "Julia: A Fresh Approach to Numerical Computing", *SIAM Review*, vol. 59, 65–98, 2017.
- [9] Python, Python Software Foundation, 2017. <https://www.python.org/>